

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ МОЩНЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ

Домнин И. Ф.⁽¹⁾, Кайда Е.А.⁽²⁾

1- Институт ионосферы НАН и МОН Украины, 61002, ГСП, г. Харьков-2, ул. Краснознаменная 16

Тел.: (057) 706-2599, E-mail: domninpro@mail.ru

2 - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра

«Радиоэлектроника», 61002, Украина, г. Харьков, ул. Фрунзе 21, E-mail: kaida@aport.ru

Annotation – This paper presents a compensating system, able to solve different problems: reactive power compensation, harmonic elimination, unbalanced loads correction. The system is based on a combination of a thyristor compensator and an active power filter. Experimental results are presented.

Key words – reactive power control, thyristor compensator, dynamic responses.

ВВЕДЕНИЕ

Формирователи мощных зондирующих импульсов предназначены для работы в составе измерительных комплексов некогерентного рассеяния, задача которых состоит в получении информации о вертикальной структуре ионосферы и протекающих в ней процессах в интервале высот $100 \div 3000$ км. Таким является измерительный комплекс некогерентного рассеяния Института ионосферы НАН и МОН Украины.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Формирователь осуществляет генерацию, усиление и передачу мощных зондирующих импульсов и строится по двухканальной схеме, каждый канал которой представляет собой импульсный передатчик, генерирующий высокочастотные зондирующие импульсы на частоте 158 МГц. Основные параметры формирователя: импульсная мощность на выходе $P_{\text{и}} > 2$ МВт, длительность излучаемых импульсов $T_{\text{и}} = 800$ мкс, частота следования импульсов $F_{\text{и}} = 24,4$ Гц. Структурная схема одного канала формирователя представлена на рисунке 1.

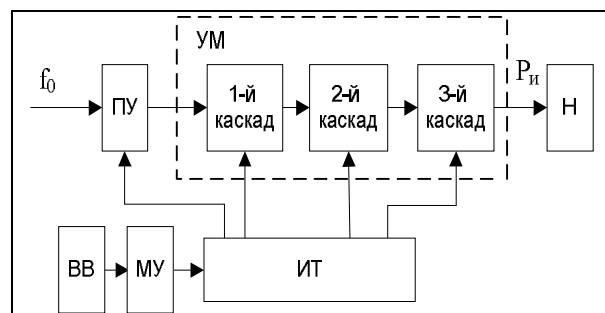


Рис. 1. Структурная схема канала формирователя

Каждый канал передатчика содержит: высоковольтный выпрямитель (ВВ), модуляционное устройство (МУ), предварительный усилитель (ПУ), импульсный трансформатор (ИТ) и трёхкаскадный усилитель мощности. Модуляционное устройство построено по схеме линейного модулятора с

емкостным накопителем энергии, с полным разрядом накопителя и с резонансным зарядом, и предназначено для импульсного питания передатчика. Зарядная цепь модулятора питается от управляемого высоковольтного выпрямителя с диапазоном регулирования выходного напряжения от нуля до номинала. Накопительно – формирующая система модулятора выполнена в виде пяти параллельно включенных искусственных длинных линий, заряжающихся в промежутках между импульсами и быстро разряжающихся на единую нагрузку – первичную обмотку импульсного трансформатора в момент поступления тактового импульса, следующего с частотой 24,4 Гц. Таким образом, на первичной обмотке импульсного трансформатора во время разряда накопительной линии формируется импульс длительностью 800 мкс и амплитудой 1,25 кВ. Импульсный трансформатор обеспечивает импульсным анодным напряжением следующие каскады усилителя мощности УМ: 1–ый каскад – 9,5 кВ, 2–ой – 22 кВ, 3–ий – 29 кВ. Импульсная мощность $P_{\text{и}} > 2$ МВт с выхода третьего каскада передается в нагрузку (Н) посредством коаксиального фидера.

При исследовании энергетических характеристик формирователя было установлено, что параметры формирователя, а также особенности режимов его работы, а именно: не синхронизированная с частотой питающей сети частота следования высокочастотных зондирующих импульсов $F_{\text{и}} = 24,4$ Гц, изменение потребления активной мощности при работе формирователя в пределах от 80 до 180 кВт, значительно влияют на диапазоны изменения неактивных составляющих полной мощности.

На рисунке 2 показано изменение реактивной мощности Q и коэффициента мощности k в точке подключения формирователя к питающей сети, при изменении потребления активной мощности P формирователем в процессе его работы. Из приведенных диаграмм видно, что изменение реактивной мощности происходит в диапазоне 80 – 260 кВт, а коэффициент мощности k изменяется в диапазоне от 0,5 до 0,75, что ведет к значительным потерям. На рисунке 3 приведены диаграммы изменения амплитуд 1-ой, 5-ой, 7-ой и 11-ой

гармоник тока, генерируемых формирователем в питающую сеть. Как видно из диаграмм, величины амплитуд гармонических составляющих по отношению к первой гармонике составляют 12,5%, 10% и 7,5% соответственно.

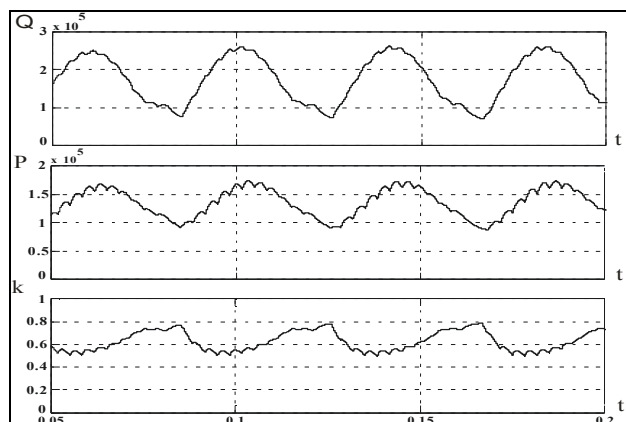


Рис. 2. Энергетические характеристики формирователя

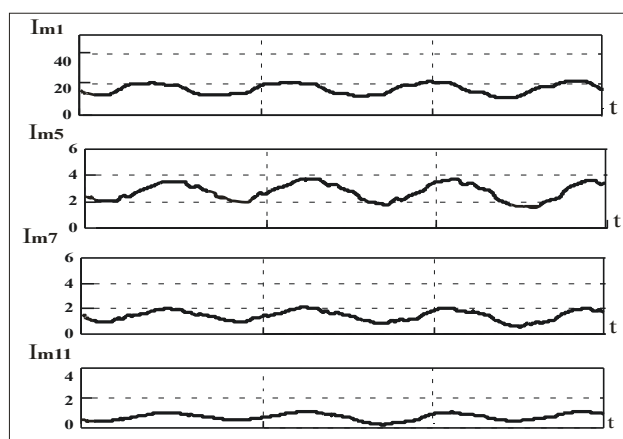


Рис. 3. Изменение амплитуд гармоник тока, генерируемых формирователем в питающую сеть

РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

На основании проведенного анализа энергетических показателей формирователя, методов регулирования показателей качества с использованием неактивных составляющих полной мощности, предложено использовать многофункциональный компенсатор неактивных составляющих полной мощности (фильтрокомпенсирующее устройство), предназначенный для подавления (фильтрации) высших гармоник тока, генерируемого формирователем в питающую сеть, компенсации реактивной составляющей основной гармоники сетевого тока.

Подобный компенсатор может быть построен по схеме с одним каналом компенсации неактивных составляющих полной мощности, который представляет собой инвертор напряжения,

выполняющий функции силового активного фильтра, однако, с целью минимизации потерь мощности и обеспечения оптимальных условий работы силового оборудования при условии поддержания на заданном уровне параметров электрической энергии питающей

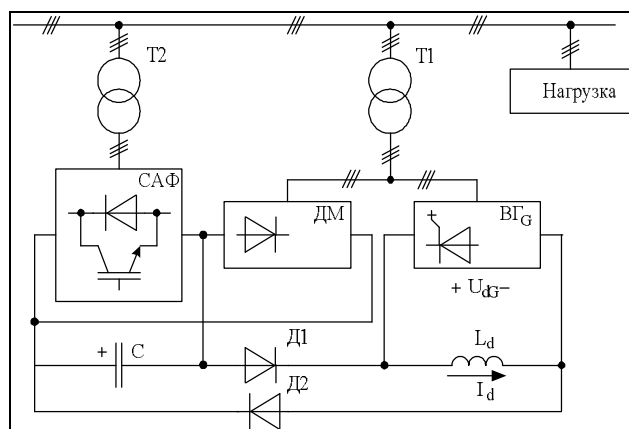


Рис. 4. Фильтрокомпенсирующее устройство

сети и улучшения электромагнитной совместимости формирователя с питающей сетью, предложена двухканальная структура силовой схемы фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ) с разделением выполняемых функций по отдельным каналам, отличающимся по частоте коммутации силовых ключей и быстродействию. Силовая схема такого устройства (рис.4) представляет собой компенсированный управляемый выпрямитель (КУВ). Низкочастотный канал представлен мостовым выпрямителем на GTO тиристорах и предназначен для компенсации средней реактивной мощности питающей сети, а высокочастотный канал представляет собой инвертор напряжения, выполняющий функции силового активного фильтра.

Мост ВГГ выполнен на запираемых тиристорах и работает с опережающими (отрицательными) углами управления α_G . Частота коммутации шестипульсового моста равна 50 Гц. Нагрузкой моста является реактор L_d . Ток реактора пропорционален величине реактивной мощности, генерируемой КУВ. Коммутация запираемых тиристоров, работающих с опережающими углами управления, требует вывода энергии, накапливаемой в индуктивностях рассеяния силового питающего трансформатора КУВ и кабелях переменного тока к моментам выключения GTO тиристоров в накопитель. Эта задача решается включением в силовую схему шестипульсной диодной группы ДМ и двух вспомогательных диодов D_1 и D_2 в качестве накопителя используется конденсатор инвертора напряжения С. Инвертор напряжения выполняет две функции. Как обязательная составная часть компенсированного управляемого выпрямителя инвертор напряжения выполняет вывод коммутационной энергии в питающую сеть. Как автономное устройство инвертор напряжения выполняет функции фильтра высших гармоник питающей сети.

Принцип подключения формирователя и ФКУ к питающей сети показан на рисунке 5.

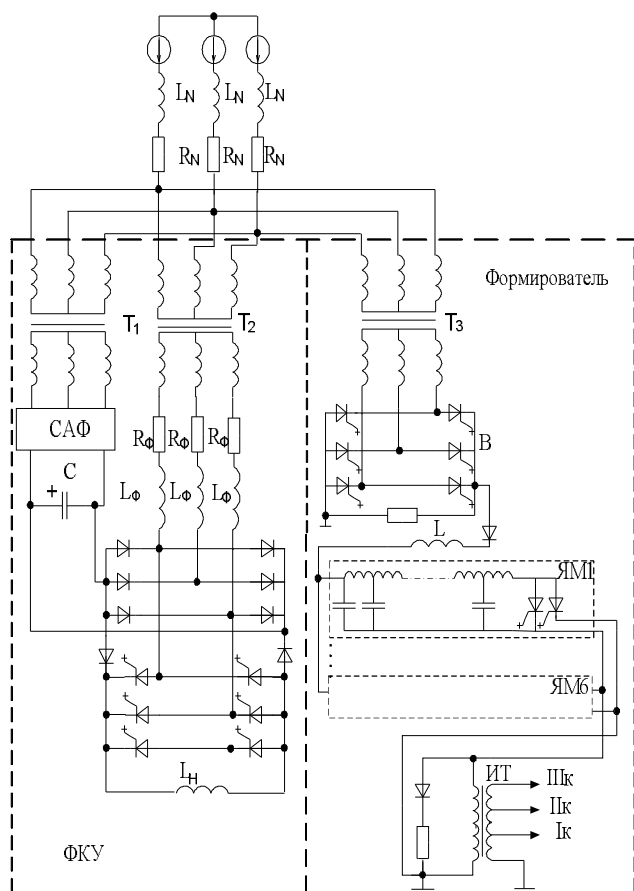


Рис. 5. Принцип подключения формирователя и ФКУ к питающей сети

Высокое качество регулирования параметров качества электрической энергии питающей сети обеспечивает предложенная цифровая прогнозно-гистерезисная система управления фильтрокомпенсирующим устройством, построенная на основе прогноза состояния системы на следующем интервале дискретности. Данная система управления имеет канал управления инвертором напряжения и канал управления выпрямителем и обеспечивает максимальный коэффициент полезного действия ФКУ при поддержании допустимого уровня средней реактивной мощности питающей сети.

Расчет прогнозируемых процессов в компенсаторе реализуется с помощью современных теорий мощности путем вычисления среднего и мгновенного значений активной и реактивной мощности в точке подключения ФКУ к питающей сети. Применение современных теорий мгновенной мощности для расчета параметров электрической энергии питающей сети создает условия для эффективного решения проблемы качества электрической энергии в точке подключения ФКУ к питающей сети и обеспечения высоких динамических характеристик ФКУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модели фильтрокомпенсирующего устройства и формирователя созданы и апробированы в пакете Matlab 7.0.1.

Как следует из вышесказанного, основными параметрами, по величине которых можно сделать вывод об эффективности использования предлагаемой структуры ФКУ для улучшения электромагнитной совместимости формирователя с питающей сетью, являются коэффициент гармоник тока, генерируемых формирователем в питающую сеть, коэффициент мощности формирователя и ФКУ в точке их подключения к питающей сети k .

Эксперименты подтвердили эффективность предложенной структуры ФКУ, а так же алгоритма управления компенсатором при решении поставленных задач.

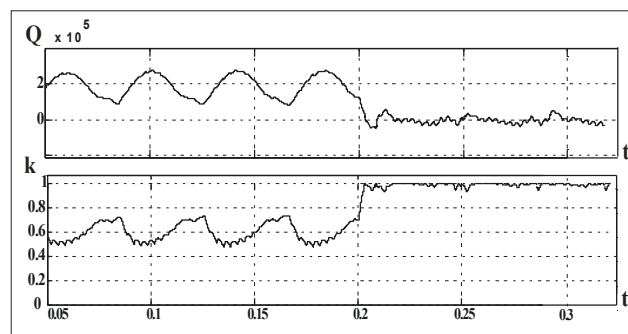


Рис. 6. Энергетические характеристики формирователя

Как видно из диаграмм на рис. 6, в момент времени t_1 , то есть при подключении ФКУ, изменение реактивной мощности Q в точке подключения формирователя к питающей сети снизилось на 90 %, а коэффициент мощности в точке подключения компенсатора реактивной мощности и формирователя к сети поддерживается на уровне 0,98. На рис. 7 приведены 1-ая, 5-ая, 7-ая и 11-ая гармоники тока, генерируемые формирователем в питающую сеть, без подключения ФКУ (до момента времени t_1) и с подключением ФКУ (после момента времени t_1). При подключении ФКУ амплитуда 5-ой гармоники снизилась на 60 %, 7-ой и 11-ой – на 50 %.

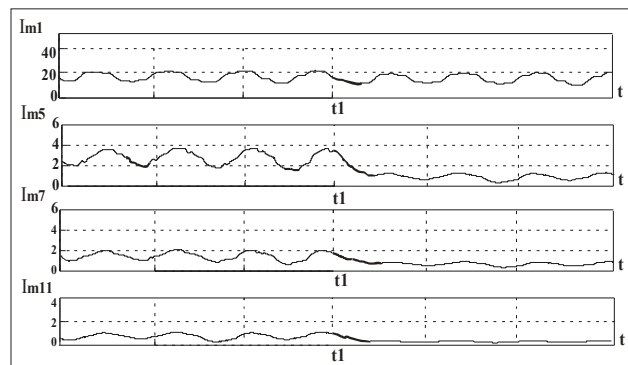


Рис. 7. Изменение амплитуд гармоник тока, генерируемых формирователем в питающую сеть

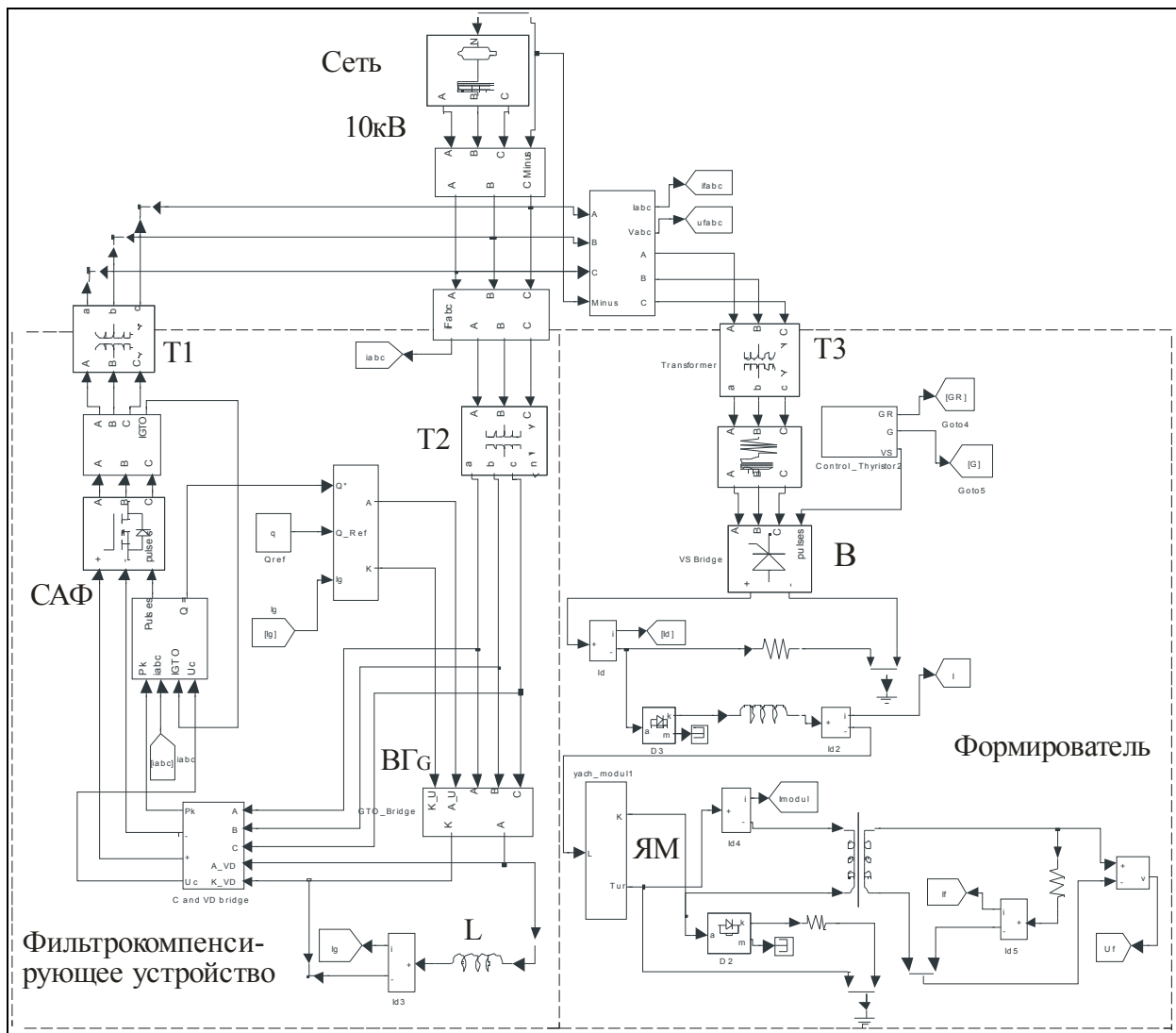


Рис. 8. Matlab - модели фильтрокомпенсирующего устройства и формирователя

На рис. 8 представлены Matlab-модели фильтрокомпенсирующего устройства и формирователя, созданные и апробированные в пакете Matlab 7.0.1.

ВЫВОДЫ

Результаты моделирования подтвердили целесообразность использования двухканального компенсатора при решении задач улучшения электромагнитной совместимости формирователей мощных зондирующих импульсов с питающей сетью, улучшения качества потребляемой электроэнергии, уменьшения потерь и увеличения надежности работы формирователей.

Созданные системы управления двухканальным фильтрокомпенсирующим устройством основаны на современных теориях мощности и реализуют идеи управления по прогнозу, что обеспечивает достижение высокого быстродействия системы в целом, управление в реальном масштабе времени и обеспечение требуемых результатов.

[1] Домнин И.Ф., Жемеров Г.Г., Сокол Е.И. Перспективы применения полупроводниковых компенсаторов реактивной мощности в сетях электроснабжения промышленных предприятий // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність».- 2002.- Ч.2.- С. 37.

[2] Домнин И.Ф. Система управления фильтрокомпенсирующим устройством. Технічна електродинаміка, 2004, № 4. С. 25

[3] Ариллага Д., Брэдли Д. Гармоники в электрических сетях. – М.: Энергия, 1990. – 390 с.

[4] Вагин Г.Я., Севостьянов А.А. Рекомендации по построению систем электроснабжения промышленных предприятий с учетом электромагнитной совместимости электроприемников // ПРОМЭЛЕКТРО.- 2004.- №1.-С.31-36.